

**Tagungsbeitrag zu:** Jahrestagung der DBG, Kommission I  
**Titel der Tagung:** Böden – Lebensgrundlage und verantwortung  
**Veranstalter:** DBG  
**Termin und Ort:** 07.-12.09.2013, Rostock  
**Berichte der DBG** <http://www.dbges.de>

## Eine *in situ* Methode zur Bestimmung von 2-D Mustern des Gasdiffusionskoeffizienten im Boden

Martin Maier<sup>1,2\*</sup>, Helmer Schack-Kirchner<sup>1</sup>,  
 Bernard Longdoz<sup>2</sup>, Friederike Lang<sup>1</sup>

### Einleitung

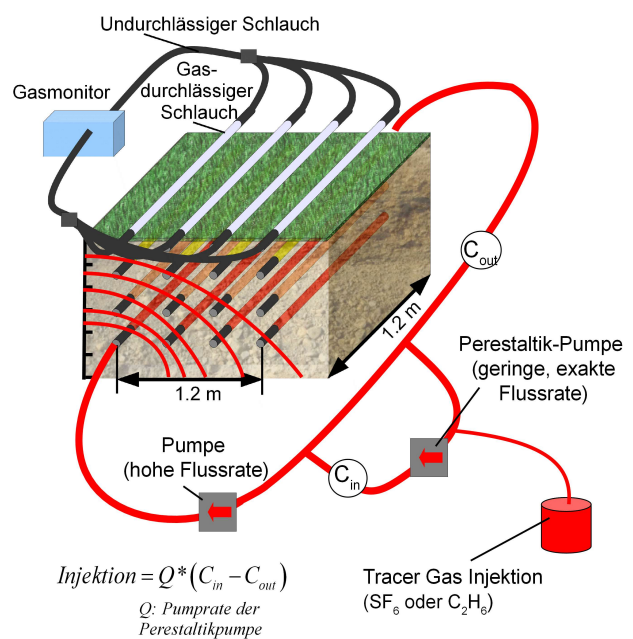
Diffusion stellt den dominierenden Gastransportprozess im Boden dar. Der Gasdiffusionskoeffizient im Boden ( $D_s$ ) ist ein wichtiger Parameter für die Belüftung des Bodens, und damit auch für alle Gasumsatzprozesse im Boden und das Wurzelwachstum. In vielen Fällen wird von einer gewissen horizontalen Homogenität des Bodens ausgegangen, insbesondere bei Strukturparametern wie dem  $D_s$ , der nur indirekt messbar ist. Diese Annahme trifft allerdings selbst in scheinbar homogenen Böden nicht zu, wurde bisher aber nur mit destruktiven Methoden nachgewiesen. Da aber selbst bei einer aufwändigen destruktiven Erfassung der  $D_s$  Muster nur ein kleiner Ausschnitt der gesamten räumlichen Verteilung im Boden erfasst werden kann, und die Bodeneigenschaften zwischen den Probenahme-Positionen unbekannt bleiben, bleibt bei diesem Ansatz eine große Unsicherheit hinsichtlich der realen, resultierenden  $D_s$  Muster. Unser Ziel war es, eine neue *in situ* Methode zur Bestimmung des scheinbaren Diffusions-Koeffizienten im Boden zu entwickeln und damit ein Bodenprofil auf 2-dimensionalen  $D_s$ -Muster hin zu untersuchen.

### Material und Methoden

Als Standort wurde die Forstmeteorologische Monitoring-Fläche Hesse bei Sarrebourg (Frankreich) ausgewählt, die zugleich eine ICOS Monitoringfläche ist. Der Boden ist ein

Stagnic Luvisol und oberflächlich leicht verdichtet (Maier *et al.*, 2012). Das Alter des Buchenbestandes beträgt ca. 30 Jahre. Bodenvegetation ist nicht vorhanden, die Humusform ist L-Mull. Das Klima ist gemäßigt mit 9,2°C Jahresmitteltemperatur und 820 mm -niederschlag.

In Hesse wurde vor 3 Jahren ein „Closed-Loop-System“ für das Monitoring der Bodengaskonzentrationen und Bodengasflüssen installiert (Parent *et al.*, 2013), das für die Entwicklung der Methode modifiziert wurde. Bei der Installation des Closed-Loop-Systems waren ungestörte Bodenproben genommen worden, an welchen der Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte und  $D_s$  im Labor überprüft worden war. Aus den aktuellen Bodenfeuchte und diesen Funktionen wurden Referenz- $D_s$ -Werte für die neue *in situ* Methode abgeleitet.



**Abbildung 1: Experimentelles Set-Up.** Tracer-Gas wird durch eine Einspeiseschleife kontrolliert langsam an einer Position des Closed-Loop-Systems eingespeist und breitet sich im Boden aus. Die resultierende Gleichgewichtskonzentrationsverteilung wird in den anderen Gassammelschläuchen erfasst.

In einem ähnlichen Ansatz wie von van Bochove *et al.* (1998) wurde Tracer-Gas ( $SF_6$ ) an einer Position im Boden kontinuierlich eingespeist, so dass sich eine (Quasi-) Gleichgewichts-Konzentrationsverteilung des Tracer-Gases im Boden ergibt (Abb.1). Durch die Erfassung der räumlichen Verteilung von Tracer-Gas an den Messpositionen des Closed-Loop-Systems lässt sich die räumliche  $D_s$

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Bodenökologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 79085 Freiburg; <sup>2</sup>INRA Nancy  
[martin.maier@bodenkunde.uni-freiburg.de](mailto:martin.maier@bodenkunde.uni-freiburg.de)

Verteilung ableiten. Um eine realitätsstreuere Abbildung des Gastransports und der Geometrie des Aufbaus zu ermöglichen, wurde hierfür ein Programm zur Modellierung mit Finiten Elementen verwendet (COMSOL Multiphysics). Durch Variation der Parameter, also des  $D_S$  der verschiedenen Kompartimente, wurde ein Modell des Versuchsaufbaus so angepasst, dass der Influx an Tracergas und die resultierende Konzentrationsverteilung dem gemessenen Influx und der gemessenen Konzentrationsverteilung entsprechen.

Es wurden 2 verschiedenen Ansätze verfolgt:

**1. Ansatz (1D)** Die Gassammelschläuche einer jeweiligen Tiefe sind miteinander verbunden. Das Set-Up wird als ein einzelnes Profil verwendet. Hierbei wird das Tracer-gas in der tiefsten Position in 40cm eingespeist und in 20, 10, 5 und 0 cm Tiefe gemessen.

**2. Ansatz („2D“).** Jeder einzelne Gassammelschlauch wird unabhängig gemessen. Durch die sukzessive Nutzung der Gassammelschläuche in 40 cm Tiefe für die Einspeisung des Tracer-Gases lässt sich die 2-dimensionale Verteilung des Diffusionskoeffizienten zwischen den Messpunkten ableiten.

## Ergebnisse und Diskussion

### 1D Ansatz

Bei der Einspeisung von  $SF_6$  in 40 cm Tiefe wurde erwartungsgemäß eine klare Zunahme der  $SF_6$  und der  $CO_2$  Konzentration mit der Tiefe festgestellt (Abb. 2). Während das  $SF_6$  Konzentrationsprofil keine starke Tagesgänge aufwies, waren  $CO_2$  Tagesgänge im Profil klar

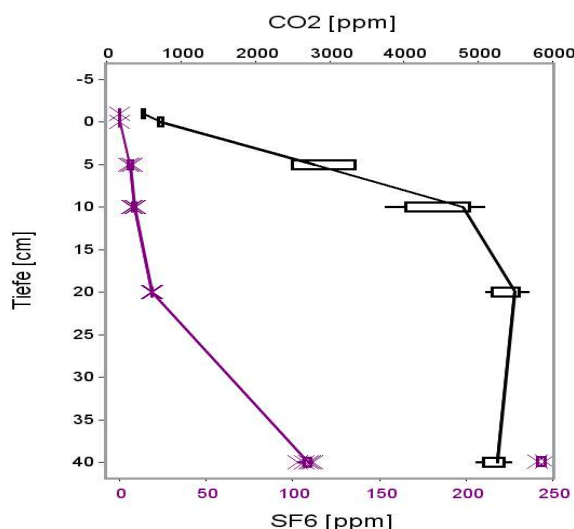


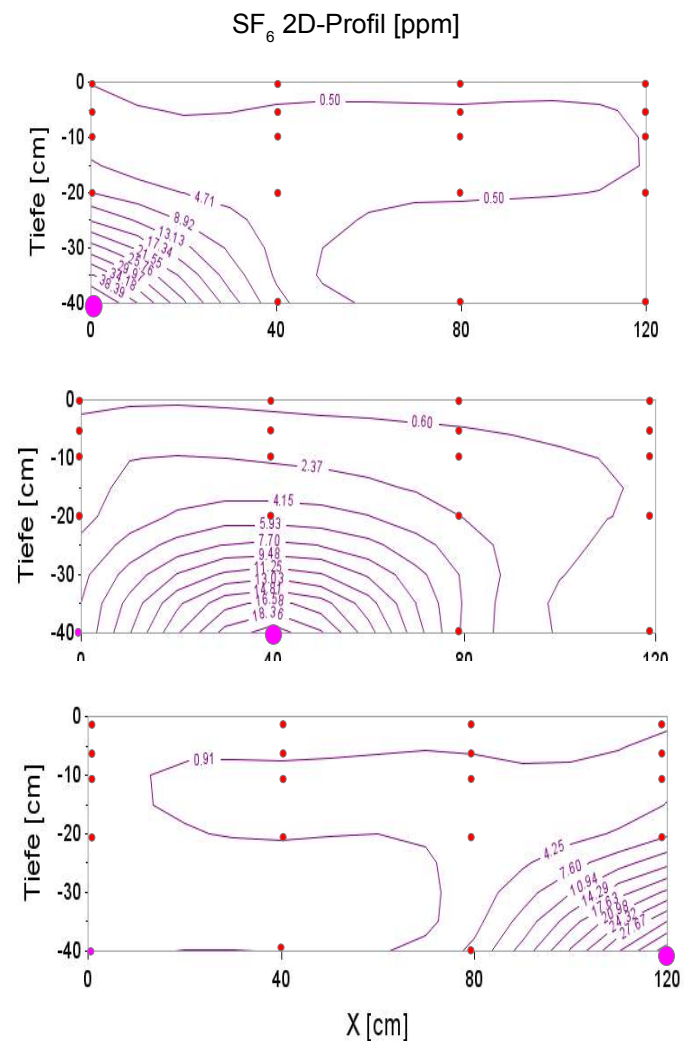
Abbildung 2:  $SF_6$  und  $CO_2$  Vertikalprofil. Die in den Boxplots enthaltene Variabilität der  $SF_6$  und  $CO_2$  Konzentration spiegelt die Variation im Tagesgang wieder.

sichtbar.

Da die  $CO_2$  Tagesgänge somit nicht durch die Variation des  $D_S$  zu erklären sind, spiegeln sie direkt die Tagesgänge der Bodenrespiration wieder.

### 2D Ansatz

Jeder einzelne Gassammelschlauch wird unabhängig gemessen, wobei sich eine unerwartet starke horizontale Variabilität der  $CO_2$  Konzentrationen ergab (nicht dargestellt).



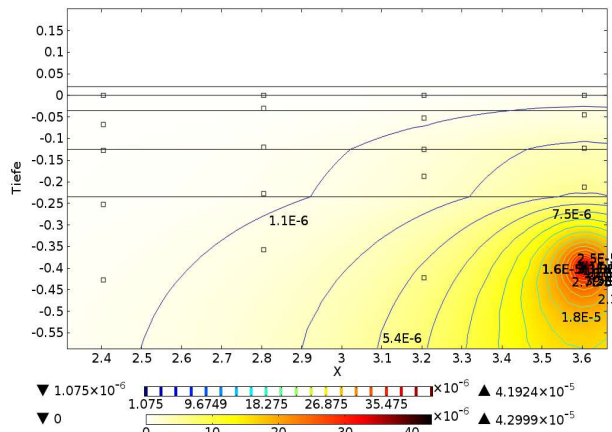


Abbildung 4: Modellierter  $\text{SF}_6$  Konzentrationsverteilung.  $D_s$  Werte der jeweiligen Schichten wurden so angepasst, dass die modellierten  $\text{SF}_6$  Werte mit den gemessenen übereinstimmen.

Die Anpassung der Parameter ( $D_s$ ) an die Messdaten mit COMSOL (Abb. 4) ergab deutlich höhere  $D_s$  Werte für den Bereich zwischen 10 und 20 cm Tiefe, also den Bereich unmittelbar unterhalb der oberflächlichen Verdichtung (siehe Maier et al., 2012).

Für den mittleren Profilausschnitt ergaben sich so deutlich höhere  $D_s$  Werte (Abb. 5), was wiederum die „Ausbauchung (Abb. 3) gut erklären würde. Zudem würden sich somit auch sehr gut die deutlich geringeren  $\text{CO}_2$  Konzentration im mittleren Profilabschnitt erklären lassen (nicht dargestellt), die somit primär nicht auf eine geringere biologische Aktivität (Respiration= $\text{CO}_2$  Produktion), sondern auf eine bessere Belüftung zurückzuführen wären. Eine solche starke horizontale Variabilität des  $D_s$  ließe sich z.Bsp. durch Gänge von Bodenwühlern erklären, wie sie auch in Hesse vorkommen und an der Oberfläche gut sichtbar sind.

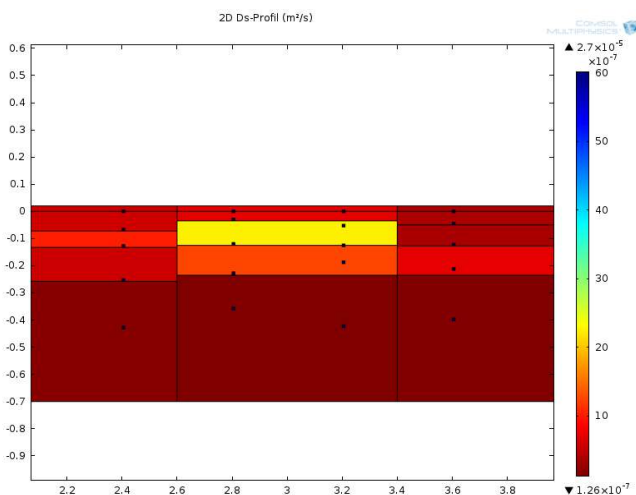


Abbildung 5: 2 dimensionales  $D_s$  Profil. Der mittlere Bereich zwischen 5 und 20 cm Tiefe zeigt deutlich höhere  $D_s$  Werte.

Jedoch liegen die *in situ* gemessenen  $D_s$  Werte im Schnitt deutlich unter den im Labor gemessenen bzw. den aus Labormessungen abgeleiteten Werten. Dies könnte an Kondenswasser liegen, das sich in den Gassamelschläuche ansammelt und so die effektive Kontaktfläche verringert.

## Schlussfolgerungen

Der vorgestellte neue Ansatz eignet sich dazu  $D_s$  *in situ* zu messen, und auch um die horizontale Variabilität innerhalb eines Boden (Gasprofils) zu erfassen, die – wie in diesem Fall – sehr stark sein kann. Allerdings ist es notwendig eine bessere Routine zu etablieren, z. Bsp mit durch Messungen mit mehreren verschiedenen Tracer-Gasen gleichzeitig, um die Messung zu beschleunigen.

## Literatur

MAIER, M., SCHACK-KIRCHNER, H., AUBINET, M., GOFFIN, S., LONGDOZ, B., PARENT, F. (2012): Turbulence Effect on Gas Transport in Three Contrasting Forest Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 76 (5), 1518-1528

PARENT, F., PLAIN, C., EPRON, D., MAIER, M., LONGDOZ, B. (2013): A new method for continuously measuring the  $\delta_{13}\text{C}$  of soil  $\text{CO}_2$  concentrations at different depths by laser spectrometry. *European Journal of Soil Science*, doi: 10.1111/ejss.12047

VAN BOCHOVE, E, BERTRAND, N., CARON, J, 1998. In situ estimation of the gaseous nitrous oxide diffusion coefficient in a sandy loam soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **62**, 1178–1184.